栽培密度對玉米乾物質累積之影響[1]

王強生　曾紹徽　劉大江[2]

摘要：本試驗於74年秋作進行，採用玉米臺農351號品種爲材料，以每公頃125,000株（D1）、62,500株（D2）與 31,250株（D3）三種密度種植，並於吐絲期及吐絲後二週分別施以 D1→D2、D1→D3與 D2→D3 等三種密度變化處理，目的在經由不同生育期改變族羣密度，探討對玉米植株乾物質生產、分配及產量等性狀的影響。

族羣密度遞減時（D1：D2：D3），單株乾物產量增加（226：267：312g），成熟期不充實穗長比率減少（21：16：13%），全穗長增加（13.8：14.9：16.5cm），每穗粒數明顯增加（465：503：587粒），單株子粒產量亦因而提高（97.9：117.0：130.4g），但公頃子粒產量因受株數影響而顯著降低（12.2：7.3：4.1t/ha），並與最大葉面積指數（7.46：3.89：2.07）密切相關。成熟期脫粒率及子粒乾物質分配率亦隨密度降低而減小，顯示疏植玉米之產量受限於積儲容積，乾物質利用效率較差。

於吐絲期及其後二週降低族羣密度，可顯著提高單株乾物質生產力，使一株產量及各構成要素表現優於原族羣密度之結果（如D１—D２處理之單株子粒產量較D１或D２處理之產量爲高），且以吐絲期進行密度變化之效果最爲明顯。族羣密度經降低後，乾物質分配至葉片及莖桿之比率減少，而分配至苞葉、穗軸及子粒等生殖器官之比率升高，其中以子粒之增幅最大。吐絲期植株葉面積已達最大值之85—97%，但乾物重不及成熟期之40%，顯示葉片供源能力於吐絲後始充份表現；於吐絲期間降低族羣密度，有提高葉片活性、子粒容積與充實速率的共同效應，爲間拔處理效果顯著的重要原因。

許多學者[2,5,8,17,18,20]均曾研究族羣密度與玉米產量之關係，但多數試驗僅在探討對最終子粒產量及其相關性狀的影響。Ordas and Stucken[18], Poneleit and Egli[21]與Schoper *et al.*[24]指出玉米單株產量隨栽培密度降低而增加，公頃產量則因株數不足，反而減少。密度並可能影響玉米穗長[15,18]、每穗粒數[16,21,24]、充實粒數[4]與百粒重[2,6,13]等產量構成要素。族羣密度影響產量的主要原因在於植株間對於養分與環境資源的競爭，例如高族羣密度下，葉片之受光度因相互遮陰而降低，供源能力較差，進而影響產量；Pendleton and Hammond[20]即曾報告玉米族羣頂端三分之一葉片光合作用能力最强，爲中間葉片之二倍，下位葉片之五倍；Pendleton *et al.*[19]與 Schoper *et al.*[24]並發現於吐絲期後置反光板於玉米行間以增加族羣受光量，可以顯著提高產量。

Wang *et al.*[29,30]發現在臺中地區玉米植株60%以上乾物質係於吐絲後累積，表示此一時期光合產物供源能力爲決定產量的重要因素；Evans and Wardlaw[11]及 Edmeads and Daynard[9]亦指出玉米子粒充實期的光合作用速率與產量有正相關關係存在。粒數與平均粒重爲玉米單穗產量的組成因子，Frey[13]認爲吐絲後二至三週爲決定粒數的重要時期，此一階段之同化物質供應可影響子

1.臺灣省農業試驗所　研究報告第 1320 號。本試驗承行政院農業委員會補助（75農建—2.2—糧—20），資料由本所試驗統計研究室劉清博士與蕭柊瓊小姐協助統計分析，又約僱技術員王碧玉小姐與譚仕馨先生協助取樣工作，謹致謝忱。

2.本所農藝系助理研究員、助理與研究員。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。

粒發育；Tollenaar and Daynard[26] 也認爲子粒數目主要在吐絲後二週內決定，其後則以粒重所受的影響較大。部份學者[2,15,21,24] 因而針對這段時期的族羣密度，探討對產量及其構成要素的作用；但有關玉米子粒充實期間，全株乾物質的生產與分配表現如何，以及影響產量之生理作用機制，則仍缺少資料可供參考。

本試驗採用玉米臺農 351號品種爲材料，以三種密度播種栽培，而於吐絲期及其後二週，分別施以密度變化處理，並於子粒發育與充實期間多次取樣，測定乾物質累積量及在器官間的分配，以探討不同生育期族羣密度對玉米生理與產量性狀所造成的影響。有關氮素與非構造性碳水化合物之分析結果，將另行撰文發表。

材料與方法

本試驗以玉米臺農351號（Tainung 351） 品種爲材料，於民國74年 9 月18日種植於本所試驗農場，播種時之行株距爲80×10、80×20與80×40cm，分別相當於每公頃125,000株（D1）、62,500株（D2）與31,250株（D3），又於吐絲期及吐絲後二週，分別施行將D1 族羣間拔爲D2密度（D1－D2）或D3密度（D1－D3）及將 D2 族羣間拔爲D3 密度（D2－D3）等三種處理，合計九種密度變化處理（表 1）。播種時每穴播二粒種子，出土後間拔留一株；小區面積40m^2，採用逢機完全集設計，重複

表1. 各項栽培密度處理說明

Table 1. Description of planting-density treatments

Treatment Code	Description
D1	Plant spacing 80×10cm, or 125,000 plants/ha.
D2	Plant spacing 80×20cm, or 62,500 plants/ha.
D3	Plant spacing 80×40cm, or 31,250 plants/ha.
D1－D2 (S)	Plants of D1 treatment thinned to D2 density at silking stage.
D1－D3 (S)	Plants of D1 treatment thinned to D3 density at silking stage.
D2－D3 (S)	Plants of D2 treatment thinned to D3 density at silking stage.
D1－D2 (S2)	Plants of D1 treatment thinned to D2 density at 2 weeks after silking.
D1－D3 (S2)	Plants of D1 treatment thinned to D3 density at 2 weeks after silking.
D2－D3 (S2)	Plants of D2 treatment thinned to D3 density at 2 weeks after silking.

四次。肥料用量爲N：P_2O_5：K_2O＝200：100：90kg/ha，氮肥 40kg及磷、鉀肥全量於基肥時一次施用，另於播種後30天及抽穗前，分別施用 80kg 氮肥各一次；唯 D1 處理於播種時增施氮肥 60kg/ha，以防因株數過多而導致氮素供應不足。 播種後施用萌前殺草劑 Primextra (3.5 ℓ a.i./ha) 防治雜草，並視需要防治病蟲害，植株生長至齊膝期後，行中耕培土一次。

自吐絲期起每隔一週取樣一次，每小區逢機選取 6 株，將植株區分爲葉片、莖稈（含葉鞘及雄穗）、苞葉及穗，置於送風乾燥箱中以80°C烘乾 72hr，再將穗區分爲穗軸（含穗梗）與子粒，分別秤量各部位之乾重。又於吐絲期及其後一、二週，三次測定葉面積 （LI—3000型葉面積儀， LI-COR Co. , USA）。收穫時調查穗長、充實穗長、每穗粒數、百粒重及脫粒率等產量性狀。

試驗結果經變方分析及以鄧肯氏多變域分析 (Duncan's New Multiple Range Test) 測定差異顯著程度，部份資料並進行相關分析。

結果與討論

一、密度處理對穗長與產量性狀的影響

成熟期玉米全穗長隨族羣密度降低而顯著增長，D1、D2與D3處理依次為13.8、14.9與16.5cm（表2）；於吐絲期進行之密度變化處理雖然未造成顯著之全穗長差異，仍有隨處理前、後族羣密度越低而穗長越長的趨勢；吐絲後二週再行間拔之三種處理，也有類似的表現。Ordas and Stucker [18] 曾有相同的報告，即族羣密度由每公頃30,000株增加至50,000株時，穗長降低，並認為穗長表現為高密度栽培玉米時產量提升的重要因素。

表2. 栽培密度處理對玉米臺農351號成熟期果穗與產量性狀的影響

Table 2. Some ear and yield characters of maize hybrid Tainung 351 at maturity as affected by various planting-density treatments

Treatment[1]	Total Ear Length (cm)	Filled Ear Length (cm)	Shelling Rate (%)	100-Grain-Weight (g)	Kernel Numher per Ear	Kernel Weight (g/Plant)	Grain Yield (t/ha)
D1	13.8 c[2]	10.9 c	79.5 b	21.1 c	465 d	97.9 d	12.2 a
D2	14.9 bc	12.5 bc	79.3 b	23.4 abc	503 cd	117.0 cd	7.3 c
D3	16.5 a	14.3 ab	76.3 c	22.3 bc	587 abc	130.4 bc	4.1 d
D1−D2 (S)	15.5 ab	13.6 ab	83.2 a	24.6 ab	575 bc	141.0 ab	8.8 b
D1−D3 (S)	16.1 ab	14.3 ab	80.9 ab	24.5 ab	577 bc	141.8 ab	4.4 d
D2−D3 (S)	16.9 a	15.0 a	80.1 b	23.8 abc	660 a	155.4 a	1.9 b
D1−D2 (S2)	14.8 bc	12.8 bc	81.1 ab	23.8 abc	537 bcd	127.8 bc	8.0 bc
D1−D3 (S2)	15.6 ab	13.7 ab	81.6 ab	25.9 a	524 cd	135.8 abc	4.2 d
D2−D3 (S2)	16.6 a	14.5 ab	79.1 b	23.3 abc	612 ab	142.6 ab	4.5 d

[1]See Table 1 for description of treatments.
[2]Means with the same letter within each column are not significantly different at 5% probability level by Duncan's New Multiple Range Test.

充實穗長之表現與全穗長相同（表2），亦隨族羣密度降低（D1：D2：D3）而增長（10.9：12.5：14.3cm），其所佔全穗長之比率亦增加（79.0：83.9：86.7%）；不充實穗長依次為2.9、2.4及2.2cm，其長度與所佔全穗長比率均較 Wang *et al.* [29] 以同一品種於每公頃58,800株密度栽培結果為低，可能受不同年度之氣候環境及栽培密度影響所致。Buren *et al.* [4] 指出玉米栽培密度太高時，不孕穗（barreness）比率增加，本試驗D1處理之不充實穗長部份雖然幾乎全屬不稔實，即穎花未受精，但並無全穗不孕現象，亦即在公頃株數高達125,000時，尚不致使臺農351號有不孕穗發生，應為一優良品種特性，唯接近成熟期時約有35%植株倒伏，增加收穫時之困難。

比較不同時期六個密度變化處理充實穗長資料發現，愈早行間拔處理，密度降低幅度愈大及處理後密度愈小時，充實穗長也有增加的趨勢，有利於單株產量表現，相關分析結果（資料未列出）顯示全穗長與充實穗長呈極顯著正相關（r＝0.99）。密度變化處理使充實穗長增加的主要原因為不充實部分減少，尤以D1−D2（S）及D1−D2（S2）二處理最明顯。Wang *et al.* [29] 指出吐絲期間拔族羣至二分之一密度（29,400株/ha），可使全穗長增加4.6%，充實穗長增加7.9%，及穗頂不稔部分減少8.3%，與本試驗結果相符。

D1、D2及D3處理果穗脫粒率依次爲79.5、79.3及76.3%，隨栽培密度減小而降低（表2）；D1－D2（S）與D1－D2（S2）二處理脫粒率依次爲83.2及81.1%，均有較D2處理爲高的傾向；D1－D3（S）、D2－D3（S）、D1－D3（S2）與D2－D3（S2）四種密度變化處理與D3處理比較，也有類似結果，顯示經間拔減少族羣密度，有提高玉米脫粒率之可能，且以較早（吐絲期）處理之效果較爲明顯。

Colville[6] 指出族羣密度增大時，玉米子粒百粒重以每公頃株數增加10,000株即減少2g的比率顯著下降；本試驗中D1、D2與D3處理之百粒重依次爲21.1、23.4與22.3g（表2），差異未達顯著水準，未能表現與密度的一定關係。但部分間拔處理後之百粒重均較其原處理百粒重爲高，例如D1－D2（S）、D1－D3（S）及D1－D3（S2）三處理百粒重依序爲24.6、24.3及25.9g，分別較原處理（D1）增加16.6、16.1及10.7%，且均達顯著水準，顯示栽培密度應仍對百粒重有所效應，且以較早處理之效應較大。Wang *et al.*[29] 指出吐絲期降低族羣密度一半，使百粒重增加12.8%，其中頂端子粒百粒重增加11.3%，中、下位子粒依次增加3.8及12.0%。Frey[13] 發現於吐絲期後間拔田間植株，可提高同化物質供給能力，顯著增加上位子粒百粒重，使全株百粒重增加。

由表2資料得知，族羣密度由每公頃31,250株（D3）增加至125,000株（D1）時，每穗粒數由587粒顯著降低至465粒，D2處理之每穗粒數爲503粒；相關分析結果顯示粒數與充實穗長及全穗長呈顯著正相關（r＝0.99, 0.93）。Poneleit and Egli[21] 選用六個玉米自交系及雜交品種，以11,325及53,302株／ha之密度種植，指出高密度時粒數減少爲單株產量降低主要原因；本試驗亦發現單株產量與粒數呈顯著正相關。D1及D2二處理經間拔後，多使粒數顯著增加，且呈現越早處理效果越明顯的時期效應，例如D1－D2（S）處理爲575粒，顯著高於原處理D1（465粒），而D1－D2（S2）之一穗粒數爲537粒，與D1處理比較，未達顯著水準；D2－D3（S）及D2－D3（S2）二處理每穗粒數分別爲660及612粒，以較早之吐絲期處理者粒數較多，且均顯著高於D2處理（503粒）。Tollenaar and Daynard[26] 以去葉處理探討玉米各產量要素之變化，發現子粒數目於吐絲後二週內決定；Egharevba *et al.*[10] 指出吐絲後10天去葉對玉米粒數影響最大；Baenziger and Glover[2] 以su—2基因突變種與正常玉米品種於吐絲後不同時期改變族羣密度，發現較晚間拔處理則子粒數目較少；本試驗於吐絲後二週內進行密度變化處理，應對葉片活性發生影響，且子粒數目顯著增加，與上述學者之結果相符合。但決定玉米一穗粒數多寡之時期仍可能因其他因素而改變，Schoper *et al.*[24] 即曾指出吐絲後三週進行間拔，仍可使子粒數目增加。

單株粒重隨族羣密度減小而顯著增加（表2），D1、D2與D3處理依次爲97.9、117.0及130.4g，D2及D3二處理分別較D1處理高19.5及33.2%。Schoper *et al.*[24] 也有相同之報告，以每公頃種植64,500株之粒重爲100%時，43,000株及21,500株之粒重分別爲116%及124%。本試驗中減小族羣密度後，各處理粒重均明顯增加；比較吐絲與吐絲後二週兩處理時期之結果，差異不顯著，但仍以較早處理之粒重較重，與Schoper *et al.*[24] 之結果相符。Baenziger and Glover[2] 及 Egharevba *et al.*[10] 分別以間拔及去葉處理探討對玉米粒重之影響，發現吐絲後20天內爲子粒發育決定性時間，間拔及去葉處理均顯著影響子粒重量。

由單株粒重及公頃株數估算產量（t/ha）可發現族羣密度之影響極大，即密植可大幅增產；D1處理產量最高，達12.2 t/ha, D2處理爲7.3 t/ha,，D3處理因株數最少，僅有4.1 t/ha（表2），與Ordas and Stucker[18] 及Whigham and Wooley[32] 之試驗結果相符。D1－D2（S）及D1－D2（S2）二處理產量分別爲8.8及8.0 t/ha，較D2處理分別增產20.5及9.6%，以吐絲期處理較具增產效果，且達顯著水準；顯示雖然收穫時之公頃株數相同，但於吐絲期適度降低族羣密度，却可能刺激玉米生長，提高產量。但於兩個時期進行D1－D3及D2－D3四種密度變化處理，產量均未較D3處理提高，可能因爲在極低的栽培密度（D3爲每公頃31,250株）下，已不利於臺農351號品種的產量表現，亦即族羣密度已成爲產量的主要限制因子。此一結果顯示，處於高族羣密度下之植株，經適度間拔

理後，可提高同化物質供給能力[13,31]增加全穗長及充實穗長[18,29]，提高果穗脫粒率、每穗粒數與百粒重[29]，使單株產量增加[29]，導致公頃產量較不經間拔而族羣密度相同之處理爲高。推究其原因，可能爲間拔處理後，使原來處於高密度族羣之植株羣落的透光度提高，光能供給量增加[3,20,23]，而提高光合作用能力[3,20]與充分供應同化物質的結果，使穗長與粒數等增大；同時積儲强度 (sink strength) 增强也可能再刺激提高供源能力；此一「供源一積儲」相互影響的結果，導致產量提高。Tollenaar and Daynard[27]曾指出提高玉米供源能力可增加積儲能力，提高產量，即供源强度會影響積儲之表現；Wardlaw[31]認爲供源能力受積儲需求 (sink demand) 所控制，需求愈大則供源能力愈强；這些報告均可以支持本試驗之推論。

二、密度處理對植株各器官乾物質累積的影響

玉米植株自吐絲期後，單株葉片乾物重有持續增加的現象，於24—45日之間達最高值，成熟前乾重略有減少，各處理之趨勢頗爲一致（表3）。比較D1、D2與D3處理之單株葉重，在吐絲後二週以前，均隨密度降低而顯著增高，但其後之差異顯著性漸減，除D3處理之單株葉重持續高於D1處理外，其他處理間之差異多未達顯著水準。葉面積之變化與葉片乾重之表現相似，自吐絲期後迅速增加，一週內即達最高值，D1、D2與D3處理依序爲每株5,964、6,226與 6,644 cm^2，差異顯著，其後以緩慢速率下降，直至成熟，與Wang *et al.*[30]之肥料試驗結果互同。

表3. 栽培密度處理對玉米臺農351號生育期間葉片乾物重 (g/plant) 變化之影響

Table 3. Changes in leaf dry weight (g/plant) of developing Tainung 351 maize hybrid as affected by various planting-density treatments

Treatment[1]	Days after Silking							
	0	7	14	24	35	45	52	69
D1	25.3 c[2]	26.2 c	25.4 c	25.4 d	25.8 e	27.8 c	26.8 d	25.4 b
D2	28.2 b	30.8 b	31.3 b	33.8 abc	32.0 bcd	32.6 abc	30.9 bcd	28.7 ab
D3	34.0 a	35.0 a	38.4 a	36.5 ab	37.8 c	37.2 a	34.2 ab	31.6 a
D1−D2 (S)		28.5 bc	34.1 ab	31.4 bc	28.7 de	30.6 bc	29.2 cd	28.0 ab
D1−D3 (S)		32.1 ab	38.7 a	34.4 abc	34.0 bcd	33.2 abc	30.7 bcd	28.6 ab
D2−D3 (S)		32.3 ab	35.4 ab	38.8 a	32.1 ab	36.7 a	35.6 a	31.4 a
D1−D2 (S2)				29.6 cd	30.0 cde	33.7 ab	31.6 abc	26.4 ab
D1−D3 (S2)				33.8 abc	31.0 bcd	34.0 ab	30.3 bcd	28.3 ab
D2−D3 (S2)				33.5 abc	35.5 ab	36.7 a	34.7 ab	30.7 a

[1]See Table 1 for description of treatments o.

[2]Means with the same letter within each column are not significantly different at 5%l probability level by Duncan's New Multiple Range Test.

於吐絲期改變族羣密度對玉米單株葉重的影響不大，經 D1−D2 (S) 與 D1−D3 (S) 處理後之單株葉重，在吐絲後7—35日期間高於原密度處理 (D1) 之葉重，且以降低密度幅度較大處理 (D1−D3(S)）之差異最爲明顯，但在其他時期及處理則無顯著差異存在（表3）。於吐絲期後二週進行密度變化處理之結果相似，以D1−D3 (S2) 之效果較爲顯著，D2−D3 (S2) 與D2處理比較，則未

見差異存在。

莖稈乾重變化與葉片相同，自吐絲期後持續增加，在第35或45天達最高值，其後迅速下降(表 4)

表4. 栽培密度處理對玉米臺農351號生育期間莖稈乾物重 (g/plant) 變化之影響

Table 4. Changes in stalk dry weight (g/plant) of developing Tainung 351 maize hybrid as affected by various planting-density treatments

Treatment[1]	Days after Silking							
	0	7	14	24	35	45	52	69
D1	50.3 c[2]	56.0 c	59.0 c	63.6 d	63.9 d	72.7 d	60.5 d	60.5 c
D2	63.2 b	67.7 bc	75.6 b	80.7 bcd	84.1 abc	99.1 ab	71.4 bc	68.8 abc
D3	75.5 a	79.4 a	92.7 a	97.1 a	99.7 a	107.8 a	87.8 a	79.0 ab
D1−D2 (S)		62.3 bc	64.0 bc	65.1 cd	63.0 d	77.2 d	65.6 cd	61.5 c
D1−D3 (S)		74.9 ab	79.3 b	84.4 abc	90.1 ab	83.2 cd	71.9 bc	66.5 bc
D2−D3 (S)		74.4 ab	78.0 b	95.8 a	81.2 abc	94.0 bc	84.6 a	78.2 ab
D1−D2 (S2)				65.6 cd	72.3 cd	76.9 d	71.5 bc	64.1 c
D1−D3 (S2)				72.3 bcd	78.3 bcd	75.9 d	73.8 bc	69.4 abc
D2−D3 (S2)				83.8 bcd	79.7 bcd	86.3 cd	79.3 ab	81.5 a

[1]See Table 1 for description of treatments.

[2]Means with the same letter within each column are not significantly different at 5% probability level by Duncan's New Multiple Range Test.

，亦即吐絲後莖稈仍繼續發育及累積乾物質，可能與子粒有競爭養分的現象存在，或供源能力遠超過子粒之積儲需求，但在充實後期，養分可自莖稈再轉移至子粒。單株莖稈乾重隨族羣密度增大而降低，D1、D2與 D3處理在吐絲期分別爲 50.3、63.2 與 75.5g，吐絲後45天達最高值時，分別爲 72.7、99.1與107.8g, D2與D3處理超過D1處理36.3與48.3%，差異顯著；成熟期莖稈乾重則爲 60.5、68.8 與 79.0g，以低密度處理之降幅較大。經間拔處理後，莖稈乾重均有較未間拔前之原處理爲高的趨勢，但仍較自播種時即維持與間拔後相同密度之處理爲輕（表 4）；又由 D1−D2 (S) 與D1−D2 (S2) 之產量 (8.8與8.0 t/ha) 高於D2處理 (7.3 t/ha) 觀之（表 2），顯示玉米族羣經適度間拔後，植株供源能力增强，乾物生產增加，亦具有較高的乾物質分配效率，可將養分轉移至發育中之子粒，從而提高產量。

單株苞葉乾重及其達最大值時間，隨栽培密度降低而增加及延後（表 5）；以D1、D2與 D3處理爲例，密植植株苞葉乾重顯著較低，尤以子粒充實中、後期之差異最爲明顯。三處理之苞葉乾重最高可達 22.4—47.9g，但至成熟期的大幅降低現象，應爲呼吸作用消耗與再轉移至子粒的結果。於吐絲期及吐絲後一週降低族羣密度，可使苞葉乾物重上升，但以吐絲期處理及密度降幅較大處理 (D1−D3) 之結果較爲明顯。

表5. 栽培密度處理對玉米臺農351號生育期間苞葉乾物重 (g/plant) 變化之影響

Table 5. Changes in husk dry weight (g/plant) of developing Tainung 351 maize hybrid as affected by various planting-density treatments

Treatment[1]	Days after Silking							
	0	7	14	24	35	45	52	69
D 1	4.1 b[2]	9.3 d	17.8 c	22.4 d	19.0 d	19.1 e	19.3 e	16.7 d
D 2	10.6 ab	15.0 cd	25.0 dc	27.9 c	28.2 c	29.7 cd	27.9 cd	22.2 bc
D 3	13.0 a	29.2 a	36.5 a	41.9 a	43.3 a	47.9 a	45.4 a	30.8 a
D1−D2 (S)		14.4 cd	21.4 c	28.3 c	26.6 c	23.6 de	22.9 de	22.2 bc
D1−D3 (S)		19.7 bc	33.9 a	38.1 ab	36.8 b	35.3 bc	30.5 c	26.6 ab
D2−D3 (S)		22.9 ab	31.8 ab	41.2 a	42.0 a	40.8 ab	35.9 b	31.0 a
D1−D2 (S2)				24.5 cd	24.7 c	31.1 bcd	23.2 de	20.4 cd
D1−D3 (S2)				26.9 cd	27.3 c	31.0 dcd	22.4 c	23.4 bc
D2−D3 (S2)				33.7 b	35.9 d	34.1 bc	36.0 b	30.1 a

[1]See Table 1 for description of treatments.
[2]Means with the same letter within each column are not significantly different at 5% probability level by Duncan's New Multiple Range Test.

表6. 栽培密度處理對玉米臺農351號生育期間穗軸乾物重 (g/plant) 變化之影響

Table 6. Changes in cob (including shank) dry weight (g/plant) of developing Tainung 351 maize hybrid as affected by various planting-density treatments

Treatment[1]	Days after Silking							
	0	7	14	24	35	45	52	69
D 1	0.7 a[2]	4.0 c	9.1 c	16.8 c	16.3 d	21.2 b	24.6 e	25.1 d
D 2	2.3 a	5.0 bc	12.0 bc	21.5 b	24.5 c	28.2 c	27.3 de	30.5 cd
D 3	2.6 a	8.7 ab	15.4 ab	24.1 b	35.7 a	42.2 a	41.5 a	40.5 b
D1−D2 (S)		6.4 abc	13.0 bc	22.6 b	23.5 c	23.2 d	25.8 be	28.5 cd
D1−D3 (S)		8.5 ab	19.2 a	28.2 a	31.7 ab	34.3 ab	32.9 bc	33.6 abc
D2−D3 (S)		9.4 a	17.3 ab	31.5 a	33.6 ab	36.5 ab	40.4 a	38.6 a
D1−D2 (S2)				20.2 bc	23.5 c	27.8 c	27.8 de	29.9 cd
D1−D3 (S2)				21.5 b	24.9 c	30.2 c	29.4 cd	30.8 bcd
D2−D3 (S2)				22.0 b	29.9 b	35.9 ab	34.6 b	37.5 ab

[1]See Table 1 for description of treatments.
[2]Means with the same letter within each column are not significantly different at 5% probability level by Duncan's New Multiple Range Test.

玉米穗軸乾重有自吐絲後逐漸增加至成熟期爲止的趨向（表6），可能因穗軸組織於子粒充實過程中逐漸木質化，以致後期之乾重變化較小。族羣密度越低者，穗軸越重，成熟期D1、D2與D3處理依序爲25.1、30.5與40.5g，差異明顯。在間拔處理之效果方面，D1－D3 (S) 與 D1－D3 (S2) 之穗軸乾重均持續較原處理 (D1) 爲高，但與 D3處理比較，多無顯著差異存在；其他各項密度變化處理之效果亦較不明顯。

Baenziger and Glover [2] 與Frey [13] 報告玉米栽培密度越低，單株子粒產量越高，本試驗中玉米子粒乾重自吐絲後第二週開始迅速增加（表7），但比較D1、D2與D3 處理，在子粒充實早期之差異並不顯著，可能爲積儲活性尚未大幅提高，以致未能顯現密度處理效應，或株間變異較大所致。自吐絲後35天開始，D2與D3處理之單株子粒乾重多較D1處理爲高，顯示密度效應，但 D2與D3間則未見差異存在，表示臺農351號玉米對疏植之反應較不明顯。成熟期D1、D2與 D3處理之株單子粒產量爲97.9、117.0與 130.4g 但此一差異性仍遠遜於栽培株數之效果，因此單位面積產量以密度爲 125,000 plants/ha之 D1 處理 (12.2 t/ha) 爲最高（表2）；唯高密度栽培時植株易之倒伏，對產量表現之穩定性將有影響。

表7. 栽培密度處理對玉米臺農351號子粒充實期間單株粒重 (g) 之影響

Table 7. Changes in kernel dry weight (g/plant) of developing Tainung 351 maize hybrid as affected by various planting-density treatments

Treatment[1]	Days after Silking					
	14	24	35	45	52	69
D 1	1.6 b[2]	12.0 c	23.7 b	41.6 c	63.7 c	97.9 d
D 2	2.7 b	18.4 bc	37.6 a	57.4 bc	84.3 b	117.0 cd
D 3	3.4 ab	15.1 c	38.2 a	61.7 b	86.5 b	130.4 bc
D1－D2 (S)	4.0 ab	23.0 ab	38.6 a	53.3 bc	87.0 b	141.0 ab
D1－D3 (S)	5.2 a	23.9 ab	46.9 a	63.4 b	94.6 b	141.8 ab
D2－D3 (S)	3.9 ab	27.5 a	44.4 a	85.3 a	109.9 a	155.4 a
D1－D2 (S2)		15.7 c	39.3 a	62.9 b	88.6 b	127.8 bc
D1－D3 (S2)		18.0 bc	41.6 a	84.2 a	97.1 b	135.8 abc
D2－D3 (S2)		18.1 bc	44.6 a	79.5 a	96.9 b	142.6 ab

[1]See Table 1 for description of treatments.

[2]Means with the same letter within each column are not significantly different at 5% probability level by Duncan's New Multiple Range Test.

於吐絲期進行間拔，以D1－D2 (S) 處理之効果最爲顯著，各期之單株粒重均超過D1 處理，成熟期並高於D2處理；吐絲後二週進行之D1－D2 (S2) 處理表現相似，但程度略遜。其他各項間拔處理雖有使單株子粒乾重增加的趨勢，唯差異均未達顯著水準（表7）。以上結果顯示，高密度玉米族羣經間拔以降低栽培密度後，有增加積儲容量與充實速率（資料未列出）的現象，但在本試驗採用之密度範圍內，公頃株數降至61,250株以下時，此一效應即不明瞭。

綜合上述玉米植株各器官乾物重變化資料，得知玉米自吐絲期後全株總乾重即逐漸上升，於成熟期達最大値（表8），與Wang *et al.* [30] 之結果相同。D1、D2與D3處理之全株乾重有顯著差異，

吐絲期三處理分別爲80.4、104.3與125.1g，成熟期依次爲225.6、267.2與312.3g, Fisher and Palmer [12] 與Nunez and Kamprath [17] 即曾指出，密度較低玉米族羣之單株乾物質累積量較多。因受株數影響，D1、D2與D3處理之公頃乾物生產量分別爲 28.2、16.7與10.1 t，以密植者最高；當族羣密度降低50%時，公頃乾物生產量減少41%與6.4%。

由表 8 資料計得知D1、D2與D3處理吐絲至成熟期之單株乾重增加量分佔成熟期乾重之 64、61與60%，亦即植株60%以上之乾重爲吐絲期後累積，與 Wang *et al.* [30] 之結果相同。玉米之族羣乾物生產量與葉面積指數關係密切，兩者均隨栽培密度降低而減小 [17,22,32]，本試驗中D1、D2與 D3 處理之最大葉面積指數爲7.46、3.89與2.07，與乾物生產量呈顯著正相關，亦與Remison and Lucas [22] 之結果相同。

表8. 栽培密度處理對玉米臺農351號生育期間全株乾物重（g/plant）變化之影響

Table 8. Changes in total dry weight (g/plant) of developing Tainung 35 1 maize hybrid as affected by various planting-density treatments

Treatment¹	Days after Silking							
	0	7	14	24	35	45	52	69
D 1	80.4 c²	95.5 c	112.9 d	140.2 e	148.7 e	182.4 e	194.9 d	225.6 e
D 2	104.3 b	118.5 bc	146.6 bc	182.3 cd	206.4 bcd	247.0 bcd	241.8 c	267.2 d
D 3	125.1 a	152.3 a	186.4 a	214.7 ab	254.7 a	296.8 a	295.4 a	312.3 abc
D1－D2 (S)		111.6 bc	136.5 c	170.4 cd	180.4 d	207.9 e	230.5 cd	281.2 cd
D1－D3 (S)		135.2 ab	176.3 a	209.0 ab	239.5 a	249.4 bcd	260.6 bc	297.1 adcb
D2－D3 (S)		139.0 a	166.4 ab	234.8 a	233.3 ab	293.3 a	306.4 a	334.6 a
D1－D2 (S2)				155.6 de	189.8 d	232.4 be	242.7 c	268.6 d
D1－D3 (S2)				172.5 cd	203.1 cd	255.3 bcd	253.0 bc	287.7 bcd
D2－D3 (S2)				191.1 bc	225.6 abc	272.5 abc	281.5 ab	322.4 ab

¹See Table 1 for description of treatments.

²Means with the same letter within each column are not significantly different at 5% probability level by Duncan's New Multiple Range Test.

D1－D2 (S) 與D1－D2 (S2) 二處理之全株乾物重，在各生育期均較 D1處理爲高，但與 D2處理比較，並無顯著性差異（表8）；D1－D3 (S)、D2－D3 (S) 與D2－D3 (S2) 處理之表現相近。唯吐絲後二週進行之 D1－D3 (S2) 處理，單株乾物重均不及D3 處理，顯示原族羣密度太高且間拔幅度較大及處理時間延後，對恢復玉米植株乾物質生產能力均有不利的影響。

三、密度處理對成熟期玉米植株乾物質分配之影響

表 9 爲成熟期玉米植株各部位乾重佔全株總乾重之分配比率；葉片之分配比率介於 9.4—11.3%之間，雖然統計分析結果並無顯著差異，仍有族羣密度越低而葉片之分配比率下降的趨勢，如 D1、D2及D3處理即依序爲11.3、10.7及10.1%。

莖稈（包含雄穗）乾重之分配比介於21.9—26.8%間，爲全株營養器官中之最高者（表9）；D1、D2及D3處理分別爲26.8、25.8及25.3%。間拔植株降低族羣密度時，莖稈所佔分配比率顯著降低，D1－D2 (S) 與D1－D2 (S2) 處理由原來D1處理之26.8%降至21.9%及23.9%，D1－D3(S)

及D1－D3 (S2) 處理分別為 22.4%及24.1%；D2－D3 (S) 及D2－D3 (S2) 處理由原 D2處理之

表9. 栽培密度處理對玉米臺農351號成熟期植株各部位乾物質分配百分比之影響

Table 9. Partition ratio of dry matter (% of total) at maturity among different plant organs of maize hybrid Tainung 351 as affected by various planting-density treatments

Treatment[1]	Partition Ratio (% of Total)					
	Leaf	Stalk	Husk	Cob	Grain	Total
D 1	11.3 a[2]	26.8 a	7.4 d	11.1 b	43.4 bc	100
D 2	10.7 ab	25.8 ab	8.3 bcd	11.4 b	43.8 bc	100
D 3	10.1 ab	25.3 ab	9.9 a	13.0 a	41.7 c	100
D1－D2 (S)	10.0 ab	21.9 d	7.9 cd	10.1 b	50.1 a	100
D1－D3 (S)	9.6 b	22.4 bc	9.0 abc	11.3 b	47.7 ab	100
D2－D3 (S)	9.4 b	23.4 bc	9.3 ab	11.5 ab	46.4 ab	100
D1－D2 (S2)	9.8 ab	23.9 abc	7.6 d	11.1 b	47.6 ab	100
D1－D3 (S2)	9.8 ab	24.1 abc	8.1 cd	10.7 b	47.3 ab	100
D2－D3 (S2)	9.5 b	25.3 ab	9.3 ab	11.6 ab	44.3 bc	100

[1]See Table 1 for description of treatments.
[2]Means with the same letter within each column are not significantly different at 5% probability level by Duncan's New Multiple Range Test.

25.8%降為23.4%與25.3%，呈現處理時期越早而分配比率下降幅度越大的趨勢。同一時期進行三種不同密度處理，則原族羣密度愈大及處理後之密度愈大者，莖稈所佔分配比愈高，即D2－D3>D1－D3>D1－D2。

苞葉重佔全株重之7.4—9.9%，為各器官中最小者（表9），與莖稈相同，其分配比隨密度增大而顯著降低，D3、D2及D1三處理依序為 9.9、8.3及7.4%。各時期進行之密度處理亦呈相似結果，改變密度均可提高苞葉之乾物分配比，以D1－D3 (S) 處理之變化最顯著，其分配比由原 D1 處理之7.4%增加為9.0%，然而此一效果隨處理時期延後而減小。

穗軸所佔全株之分配比，隨族羣密度減小而增加，D1處理最低 (11.1%)，而D3處理最高(13%)。減少族羣密度處理可降低其分配比，但統計分析結果之差異均不顯著。

子粒佔全株之分配比相當於收穫指數 (harvest index, HI)，可以說明植株乾物質生產分配至產量部位的效率。Schoper *et al*[24] 指出玉米收穫指數隨族羣度增大 (21,500—43,000—64,500 plants/ha) 而增加 (0.49—0.54—0.54)；本試驗族羣密度為 31,250(D3)—62,500 (D2)—125,000 (D1) plants/ha時，其分配比依次為41.7、43.8及43.4%，以D3處理最小，而D1與 D2處理極為接近。當族羣密度由度由31,250增至62,500 plant/ha時，分配比之變化與 Schoper *et al.*[24] 之結果相符。間拔處理可提高子粒之分配比率，D1－D2 (S) 及 D1－D2 (S2) 二處理子粒分配比依次為50.1及47.6%，均較原D1 處理(43.4%)高，前者更達顯著水準；D1－D3及D2－D3二種密度變化之四種處理亦呈相同結果。同一時期進行三種處理的子粒分配比率，以 D1－D2 最高，D1－D3 次之，D2－D3最低，亦即原族羣密度高且密度變化程度大者，子粒分配比較高。Duncan *et al.*[7] 與Yoshida[34] 指出同化供源能力為限制溫帶地區玉米產量的原因，而 Yamaguchi[33] 發現熱帶玉米產量受積儲

容積所限制；臺農 351號玉米之母本爲熱帶型硬粒種，父本爲溫帶型馬齒種，植株特性與母本較爲接近[28]；據Wang *et al.*[30] 之研究，其產量限制因子並非供源不足，可能受積儲容積或同化產物無法充分轉移至子粒二因素共同影響。Fisher and Palmer[12] 指出溫帶，亞熱帶與帶地區玉米生物產量相近，而子粒產量差異主要是乾物質分配所造成，Goldsworthy *et al.*[14] 與 Yamaguchi[33] 也認爲熱帶地區玉米低產的主要原因爲收穫指數較低。由表 9 結果得知，族羣密度改變時，營養器官（葉片及莖稈）所穫分配乾物質減少，而穗部（包括苞葉、穗軸）之及子粒乾物質分配增加，其中尤以子粒之增加最爲明顯；又由於族羣密度降低，供源能力提高，乾物質生產力增加，使單株粒重顯著提高。Anderson *et al.*[1] 與 Fisher and Palmer[12] 認爲供源與積儲間之關係及乾物質分配型式對玉米子粒產量的影響最大，今後如欲提高本省玉米產量，亦應考慮由提高子粒乾物質分配比率著手。

引用文獻

1. Anderson, E. L., E. J. Kamprath and R. H. Moll. 1984. Nitrogen fertility effects on accumulation, remobilization and partitioning of N and dry matter in corn genotypes differing in prolificacy. Agron. J. 76 : 397-404.
2. Baenziger, P. S. and D. V. Glover. 1980. Effect of reducing plant population on yield and kernel characteristic of sugary-2 and normal maize. Crop Sci. 20 : 444-447.
3. Baker, D. N. and R. B. Musgrave. 1964. Photosynthesis under field conditions. V. Further plant chamber studies of the effects of light on corn (*Zea mays* L.). Crop Sci. 4 : 127-131.
4. Buren, L. L., J. J. Mock and I. C. Anderson. 1974. Morphological and physiological traits in maize associated with tolerance to high plant density. Crop Sci. 14 : 426-429.
5. Cloninger, F. D., R. D, Horrocks and M . S. Zuber. 1975. Effect of harvest date, plant density, and hybrid on corn grain quality. Agron. J. 67 : 693-695.
6. Colville, W. L. 1962. Influence of rate and method of planting on several components of irrigated corn yields. Agron. J. 54 : 297-300.
7. Duncan, W. G., D. E. McCloud, R. L. McGraw and K. J. Boote. 1978. Physiological aspects of peanut yield improvement. Crop Sci. 18 : 1015-1020.
8. Early, E. B., W. O. McIlrath, R. D. Seif and R. H. Hageman. 1967. Effects of shade applied at different stage of plant development on corn (*Zea mays* L.) production. Crop Sci. 7 : 151-156.
9. Edmeades, G. O. and T. B. Daynard. 1979. The relationship between final yield and photosynthesis at flowering in individual maize plant. Can. J. Plant Sci. 59 : 585-601.
10. Egharevba, P. N., R. D. Horrocks and M. S. Zuber. 1976. Dry matter accumulation in maize in response to defoliation. Agron. J. 68 : 40-43.
11. Evans, L. T. and I. F. Wardlaw. 1976. Aspects of the comparative physiology of grain yield in cereals. Adv. Agron. 28 : 301-359.
12. Fisher, K. S. and A. F. E. Palmer. 1983. Maize. *In* Potential productivity of field crops under different environments. pp. 154-180. International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Philippines.
13. Frey, N. M. 1981. Dry matter accumulation in kernels of maize. Crop Sci. 21 : 118-122.
14. Goldsworthy, P. R., A. F. E. Palmer and D. W. Sperling. 1974. Growth and yield of lowland tropical maize in Mexico. J. Agri. Sci. 83 : 223-230.
15. Hanway, J. J. 1969. Defoliation effects on different corn (*Zea mays* L.) hybrids as influenced by plant population and stage of development. Agron. J. 61 : 534-538.
16. Hunter, R. B. 1980. Increased leaf area (source) and yield of maize in short-season areas. Crop Sci. 20 : 571-574.

17. Nunez, R. and E. Kamprath. 1969. Relationships between N response, plant population, and row width on growth and yield of corn. Agron. J. 61 : 279-282.

18. Ordas, A. and R. E. Stucker. 1977. Effect of planting density on correlations among yield and its components in two corn populations. Crop Sci. 17 : 626-929.

19. Pendleton, J. W., D. B. Egli and D. B. Peters. 1967. Response of *Zea mays* to a "light rich" field environment. Agron. J. 59 : 395-397.

20. Pendleton, J. W. and J. J. Hammond. 1969. Relative photosynthetic potential for grain yield of various leaf canopy levels of corn. Agron. J. 61 : 911-913.

21. Poneleit, C. G. and D. B. Egli. 1979. Kernel growth rate and duration in maize as affected by plant density and genotype. Crop Sci. 19 : 385-388.

22. Remison, S. U. and E. O. Lucas. 1962. Effects of planting density on leaf area and productivity of two maize cultivars in Nigeria. Expl. Agric. 18 : 93-100.

23. Rumawas, F., B. O. Blair and R. J. Bula. 1971. Microenvironment and plant characteristics of corn (*Zea mays* L.) plant at two row spacings. Crop Sci. 11 : 320-323.

24. Schoper, J. B., R. R. Johnson and R. J. Lambert. 1982. Maize yield response to increased assimilate supply. Crop Sci. 22 : 1184-1189.

25. Tollenaar, M. and T. B. Daynard. 1978. Effect of defoliation on kernel development in maize. Can. J. Plant Sci. 58 : 20S-212.

26. Tollenaar, M. and T. B. Daynard. 1978. Relationship between assimilate source and reproductive sink in maize grown in a short-season environment. Agron. J. 70 : 219-223.

27. Tsao, S. H., C. S. Wang and D. J. Liu. 1986. Studies on the characteristics of kernel-filling in maize. J. Agri. Res. China 35 : 23-36.

28. Wan, H., T. C. Lee, H. S. Lu and C. L. Ho. 1986. Development of maize single hybrid Tainung 351. J. Agri. Res. China 35 : 11-22.

29. Wang, C. S., S. H. Tsao and D. J. Liu. 1985. Studies on the causes of eartip unfilling of Tainung 351 maize. J. Agri. Res. China 34 : 266-278.

30. Wang, C. S., S. H. Tsao and D. J. Liu. 1986. Effects of N fertilization on the growth and yield of two maize hybrids. J. Agri. Res. China 35 : 437—448.

31. Wardlaw, I. F. 1984. The regulation of photosynthetic rate by sink demand. *In* Regulation of sources and sinks in crop plants(B. Jeffcoat, A. F. Hawkins andA. D. Stead, eds). pp. 145-162. Proc. of a symposium by the Brit. Plant Growth Regulator Group. Univ. of York, Heslington, York.

32. Whigham, D. K. and D. G. Woolley. 1974. Effect of leaf orientation, leaf area, and plant densities on corn production. Agron. J. 66 : 482-486.

33. Yamaguchi, J. 1974. Varietal traits limiting the grain yield of tropical maize. IV. Plant traits and productivity of tropical varieties. Soil Sci. Plant Nutr. 20 : 287-304.

34. Yoshida, S. 1972. Physiological aspects of grain yield. Ann. Rev. Plant Physiol. 23 : 437-464.

Effect of Population Density on the Accumulation of Dry Matter in Maize[1]

C. S. Wang, S. H. Tsao and D. J. Liu[2]

Summary

Maize hybrid Tainung 351 was grown in the fall crop season of 1985 at three spacings (80×10, 80×20 and 80×40 cm) to give populations of about 125,000 (D1), 62,500 (D2) and 31,250 (D3) plants/ha. Treatments were imposed at either silking stage or two weeks after silking by thinning the stand from D1 to D2 and D3, and D2 to D3 in order to determine the response of production and partition of dry matter and yield characters to changing densities.

Results showed that with decreasing population density (D1−D2−D3), total dry weight per plant, kernel number and total ear length increased (226—267—313 g/plant, 465—503—587 kernels/ear and 13.8—14.9—16.5 cm, respectively) while ratio of unfilled to total ear length decreased (21—16—13%), resulting in higher single plant yield (98—117—130 g). However, grain yield per ha decreased (12.2—7.3—4.1t) significantly due mainly to insufficient plant number at lower population densities. Yield per ha was closely correlated with shelling rate and partition ratio of dry matter to grain tended to decrease with decreasing population density, which indicated that maize yield was limited by sink capacity and dry matter utilization efficiency was low under widely spaced condition.

Thinning treatments showed positive effect on assimilate supply and yield performances. For example, total and filled ear length, kernel number, shelling rate, 100-kernel-weight and grain yield per plant of D1−D2 were all increased as compared with those of either D1 or D2 treatment. Plants of thinning treatment partitioned less dry matter to the vegetative parts (leaf and stalk) but more to the reproductive organs (husk, cob and kernel).

Plants possessed 85—97% of maximum leaf area but only 40% of final dry weight at silking stage, indicating high assimilation ability during grain-filling. Thinning to low densities increased source activity, sink capacity and sink activity (seed growth rate). These, along with the high partition efficiency, were the main reasons for

---

1. Contribution No. 1320 from Taiwan Agricultural Research Institute.

2. Respectively, assistant agronomist, research assistant and senior agronomist, Department of Agronomy, TARI, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan 41301, ROC.

increased grain yield. Experimental results suggested that appropriate dense planting could increase the yield of Tainung 351 maize under favorable cultural conditions. Population density at various growth periods had definite effect on the physiological and yield performances. Production and partition of dry matter in maize could be manipulated to some degree by cultural improvement. Hence, improving the partitioning efficiency and selecting varieties with high harvest index should be approaches for an increased grain yield in maize.